

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
20. März 2003 (20.03.2003)

PCT

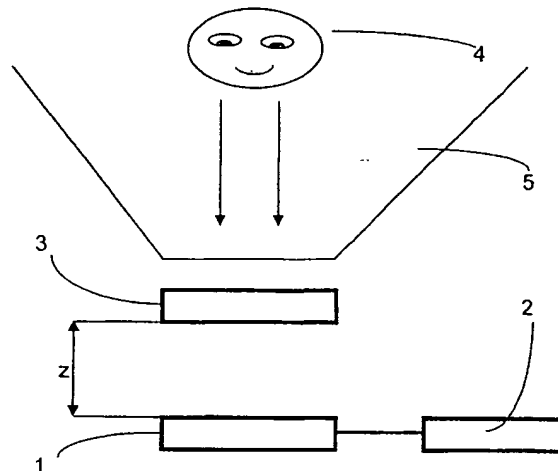
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/024122 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H04N 13/00** (71) **Anmelder** (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **4D-VISION GMBH** [DE/DE]; Löbstedter Strasse 101, 07749 Jena (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/EP02/09927**
- (22) Internationales Anmeldedatum:
5. September 2002 (05.09.2002) (72) **Erfinder; und**
(75) **Erfinder/Anmelder** (nur für US): **KLIPPSTEIN, Markus** [DE/DE]; Salvador-Dali-Strasse 6, 07751 Jena-Münchenroda (DE). **RELKE, Ingo** [DE/DE]; Fritz-Ritter-Strasse 6, 07747 Jena (DE).
- (25) Einreichungssprache: **Deutsch**
- (26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch** (74) **Anwälte: NIESTROY, Manfred**; Geyer, Fehners & Partner, Sellierstrasse 1, 07745 Jena usw. (DE).
- (30) Angaben zur Priorität:
101 45 133.4 6. September 2001 (06.09.2001) **DE** (81) **Bestimmungsstaaten** (national): **AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR AUTO-STEREOSCOPIC IMAGE DISPLAY WITH A WAVELENGTH FILTER ARRAY

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR AUTOSTEREOSKOPISCHE BILDANZEIGE MIT EINEM WELLENLÄNGENFILTERARRAY



(57) Abstract: The invention relates to a method for spatial representation of a scene or an object, wherein several views of the scene or object are broken down into partial data which is reproduced on image reproduction elements in such a way that it is optically perceptible, adjacent image reproduction elements emit light of various wavelengths or wavelength ranges, and a propagation device is provided for the light using wavelength filters to enable an observer to perceive predominantly partial data from a first selection with one eye and to perceive predominantly partial data from a second selection with the other eye. The aim of the invention is to improve the quality of the spatial representation. According to the inventive method, partial data from at least two different views is simultaneously associated with at least one image reproduction element. The allocation of said data occurs in such a way that the wavelength of the partial data continuously matches the wavelength of the image reproduction element associated therewith or lies in the wavelength range of the light emitted by the associated image reproduction device.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur räumlichen Darstellung einer Szene oder eines Gegenstandes, wobei mehrere Ansichten der Szene oder des Gegenstandes in Teilinformationen zerlegt werden, welche optisch wahrnehmbar auf Bildwiedergabeelementen wiedergegeben werden, benachbarte Bildwiedergabeelemente

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 03/024122 A1



CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Licht verschiedener Wellenlängen oder Wellenlängenbereiche abstrahlen, und für das Licht mittels Wellenlängensfiltern Ausbreitungsrichtung derart vorgegeben werden, dass ein Betrachter mit einem Auge überwiegend Teilinformationen einer ersten Auswahl und mit dem anderen Auge überwiegend Teilinformationen einer zweiten Auswahl wahrnimmt. Mit der Erfindung soll die Qualität der räumlichen Darstellung verbessert werden. Bei einem solchen Verfahren werden mindestens einem Bildwiedergabeelemente Teilinformationen aus mindestens zwei verschiedenen Ansichten gleichzeitig zugeordnet, wobei die Zuordnung so erfolgt, dass die Wellenlänge der Teilinformation stets mit der Wellenlänge des von dem zugeordneten Bildwiedergabeelement abgestrahlten Lichts übereinstimmt oder im Wellenlängenbereich des von dem zugeordneten Bildwiedergabeelement abgestrahlten Lichts liegt.

VERFAHREN ZUR AUTOSTEREOSKOPISCHE BILDANZEIGE MIT EINEM
WELLENLÄNGENFILTERARRAY

Titel

Verfahren zur räumlichen Darstellung

Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur räumlichen Darstellung einer Szene oder eines Gegenstandes auf der Grundlage von mehreren Ansichten A_c der Szene oder des Gegenstandes, bei dem die Ansichten A_c auf Rastern R_c mit Spalten k und Zeilen l in eine Vielzahl von Teilinformationen a_{ckl} , die durch ihre Wellenlänge charakterisiert sind, zerlegt werden mit $c = 1, \dots, n$ und n der Gesamtzahl von Ansichten, die Teilinformationen a_{ckl} optisch wahrnehmbar auf Bildwiedergabeelementen α_{ij} , die in einem Raster aus Spalten i und Zeilen j angeordnet sind, wiedergegeben werden, benachbarte Bildwiedergabeelemente α_{ij} Licht verschiedener Wellenlängen bzw. verschiedener Wellenlängenbereiche abstrahlen, für das abgestrahlte Licht Ausbreitungsrichtungen vorgegeben werden durch ein oder mehrere Arrays aus einer Vielzahl einzelner in Spalten und Zeilen angeordneter Wellenlängenfilter, die für verschiedene Wellenlängen oder verschiedene Wellenlängenbereiche transparent sind und dem Raster mit den Bildwiedergabeelementen in Blickrichtung vor- oder nachgeordnet sind, wobei jeweils ein Bildwiedergabeelement mit mehreren zugeordneten Wellenlängenfiltern oder ein Wellenlängenfilter mit mehreren zugeordneten Bildwiedergabeelementen derart korrespondiert, daß jeweils die Verbindungsgerade zwischen dem Schwerpunkt der Querschnittsfläche eines sichtbaren Abschnitts des Bildwiedergabeelements und dem Schwerpunkt der Querschnittsfläche eines sichtbaren Abschnitts des Wellenlängenfilters einer Ausbreitungsrichtung entspricht, so daß von jeder Betrachtungsposition aus ein Betrachter mit einem Auge überwiegend Teilinformationen einer ersten Auswahl und mit dem anderen Auge überwiegend Teilinformationen einer zweiten Auswahl aus den Ansichten A_c optisch wahrnimmt, und bezieht sich auf das Problem der Qualität der Wahrnehmung von dreidimensionalen Darstellungen.

30

Stand der Technik

Eine Vielzahl bekannter Verfahren zur räumlichen Darstellung basiert auf der räumlichen oder der räumlich-zeitlichen Aufteilung verschiedener Ansichten einer Szene auf einem Gerät zur Bildwiedergabe. Bei den Ansichten handelt es sich dabei in der Regel entweder um räumlich in der Tiefe gestaffelte Schichtbilder oder um aus ver-

35

schiedenen Perspektiven aufgenommene Bilder. Als Geräte zur Bildwiedergabe finden z. B. LC-Displays eine immer weiter verbreitete Anwendung. So werden beispielsweise in US 5 936 774 Verfahren und Anordnung zur autostereoskopischen Darstellung von zwei bis vier Perspektivansichten auf einem LC-Display beschrieben.

5 Auch in EP 0 791 847, EP 0 783 825, JP 8 194 190 werden auf LC-Displays basierende Anordnungen zur autostereoskopischen Darstellung beschrieben. In der deutschen Anmeldung 100 03 326.1/51 werden ein Verfahren und Anordnungen zur Darstellung mehrerer Ansichten einer Szene beschrieben.

10 Der Nachteil bei all den beschriebenen Anordnungen bzw. Verfahren ist, daß die Maximalzahl darstellbarer Ansichten durch die Anzahl der Bildwiedergabeelemente des LC-Displays in der Hinsicht beschränkt ist, daß sichergestellt sein muß, daß jeder Ansicht genügend Bildwiedergabeelemente zur Verfügung gestellt werden. Jedem Bildwiedergabeelement wird eine Teilinformation einer Ansicht zugeordnet und
15 auf diesem dargestellt, wobei die Teilinformation durch ihre Wellenlänge charakterisiert ist. Werden z. B. Teilinformationen aus acht Ansichten auf ein typisches LC-Display mit einer Auflösung von 1024 x 768 Pixeln gleichverteilt, so stehen jeder Ansicht selbst unter Ausnutzung der RGB-Subpixelstruktur nur etwa 295000 Subpixel zur Verfügung. Man erreicht auf diese Weise zwar eine dreidimensionale Darstellung, jedoch erscheinen einem Betrachter die Perspektivbilder zumeist in der
20 Auflösung deutlich verringert. Für die Verbesserung des Raumeindrucks wäre es trotzdem wünschenswert, so viele Perspektivbilder wie möglich zu verwenden, um einen quasikontinuierlichen Eindruck zu vermitteln. Doch schon bei 40 Ansichten stehen auf einem LC-Display der o. g. Größe nur etwa 59000 Subpixel pro Ansicht zur Verfügung. Darunter leidet die Qualität der dreidimensionalen Darstellung. Natürlich wäre es möglich, eine größere Anzahl von Bildwiedergabeelementen zu verwenden, dies ist jedoch nur unter größerem Aufwand und höheren Kosten zu realisieren. Darüberhinaus sind die herstellbaren Auflösungen von Bildgebern verschiedener Art produktionstechnisch limitiert.

30

Ein weiterer Nachteil bei der Verwendung einer geringeren Anzahl von Ansichten ist das Auftreten pseudoskopischer Effekte. In den Übergangsbereichen, in denen sich die Ausbreitungsrichtungen zweier Ansichten überlagern bzw. wo zwei Ansichten ineinander übergehen, kann es bei einer leichten Bewegung des Betrachters schon
35 zu einer sprunghaften Änderung des Bildes kommen. Dieser Effekt ist um so größer, je mehr die beiden Ansichten in der räumlichen Tiefe bzw. der Perspektive vonein-

ander abweichen. Werden die Ansichten entsprechend ihrer räumlichen Tiefe bzw. Perspektive gestaffelt angeordnet, so ist der Effekt besonders groß in dem Bereich, wo die erste und die letzte Ansicht ineinander übergehen.

- 5 Um eine korrekte Darstellung zu gewährleisten, muß außerdem der Strahlensatz berücksichtigt werden. Aufgrund des Strahlensatzes ist es bei Anordnungen, die mit einem solchen Verfahren arbeiten, nötig, die hintereinander angeordneten Komponenten von leicht unterschiedlicher Größe zu konzipieren. Wenn beispielsweise das Wellenlängenfilterarray in Blickrichtung vor dem Raster aus Bildwiedergabeelementen angeordnet ist, so müssen die Bildwiedergabeelemente, um dem Strahlensatz zu
10 genügen, die um den Faktor $f = d_a / (z + d_a)$ verminderte Höhe und Breite gegenüber den Filterelementen besitzen. Dabei ist z der Abstand zwischen dem Raster aus Bildwiedergabeelementen und dem Array aus Wellenlängenfiltern, und d_a ein wählbarer Betrachtungsabstand, der im wesentlichen dem mittleren aller im gesamten
15 Betrachtungsraum möglichen Abstände zwischen dem Raster aus Bildwiedergabeelementen und einem Betrachter bzw. einer Betrachtungsposition entspricht. Üblicherweise werden daher die Filterelemente der Filterarrays etwas kleiner als die Bildelemente des Bildgebers konzipiert. Dies hat zunächst den offensichtlichen Nachteil, daß Komponenten in verschiedener Größe hergestellt werden müssen, wünschenswert wären jedoch aus wirtschaftlichen Gründen Baugruppen der gleichen Größe, insbesondere dann, wenn sowohl Filterarray als auch Raster aus Bildwiedergabeelementen als LC-Displays konzipiert sind. Ein schwerwiegender Nachteil ist aber, daß die Darstellung nicht flexibel an veränderte Abstände von Betrachtern anpaßbar ist: Der Abstand z zwischen Filterarray und Raster aus Bildwiedergabeelementen wird für die erwähnte Anordnung nach der Formel $z = s_p \cdot d_a / p_a$ berechnet,
20 wobei s_p der Breite eines Bildwiedergabeelementes entspricht, p_a die mittlere Distanz zwischen den Pupillen eines Betrachters angibt und d_a der oben eingeführte mittlere Betrachtungsabstand ist. Das heißt, ein Filterarray wird im Prinzip für genau einen optimalen mittleren Abstand hergestellt. Bei anderen Abständen ist die Qualität der Darstellung vermindert. Wünschenswert wäre jedoch eine gleichmäßig gute Qualität in der Darstellung innerhalb eines größeren Bereichs von Abständen. Handelt es sich bei dem Bildwiedergabegerät um eine LC-Display, so wird sich z. B. ein Einzelbetrachter in der Regel etwa 25 cm vor dem Bildschirm entfernt aufhalten, während eine kleine Gruppe von Betrachtern sich beispielsweise in einem größeren
30 Abstand von etwa 50 cm bis 1 m befinden wird.

Beschreibung der Erfindung

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, bei einem Verfahren zur dreidimensionalen Darstellung die Qualität der Darstellung zu verbessern.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe bei einem Verfahren der eingangs beschriebenen Art dadurch gelöst, daß mindestens einem Bildwiedergabeelement Teilinformationen aus mindestens zwei verschiedenen Ansichten gleichzeitig zugeordnet werden, wobei die Zuordnung so erfolgt, daß die Wellenlänge der Teilinformation stets mit der Wellenlänge des von dem zugeordneten Bildwiedergabeelement abgestrahlten Lichts übereinstimmt oder im Wellenlängenbereich des von dem zugeordneten Bildwiedergabeelement abgestrahlten Lichts liegt.

Indem auf mindestens einem Bildwiedergabeelement Teilinformationen von verschiedenen Ansichten gleichzeitig wiedergegeben werden, können bei gleicher Auflösung des Bildanzeigegerätes mehr Ansichten verwendet werden. Eine höhere Anzahl von Ansichten entspricht einer dichteren Staffelung in der räumlichen Tiefe bzw. in der Perspektive, so daß der dreidimensionale Eindruck verbessert wird. Der Ansichtenwechsel erfolgt außerdem weniger sprunghaft. Auf wie vielen Bildwiedergabeelementen dabei Teilinformationen von verschiedenen Ansichten gleichzeitig dargestellt werden, hängt dabei sowohl von der Anzahl der zur Verfügung stehenden Bildwiedergabeelemente als auch von der Anzahl der darzustellenden Ansichten ab.

Zweckmäßig werden die Teilinformationen a_{ckl} den Bildwiedergabeelementen α_{ij} mittels der Vorschrift

$$\alpha_{ij} = \sum_c \sum_k \sum_l a_{ckl} \cdot g_{cklij} \quad (1)$$

zugeordnet, wobei g ein Tensor fünfter Stufe ist, dessen Elemente g_{cklij} reelle Zahlen sind und die Wirkung von Wichtungsfaktoren, die das Gewicht der betreffenden Teilinformation a_{ckl} in einem Bildwiedergabeelement α_{ij} bestimmen, haben. Die Indizes c , k und l durchlaufen dabei alle Werte von 1 bis zum jeweiligen Maximalwert, so daß alle möglichen Kombinationen erreicht werden. Darüber hinaus ist es bei der Anwendung von Formel (1) möglich, Teilinformationen aus Ansichten unterschiedli-

cher Größe ohne eine sonst nötige Größenkonvertierung miteinander zu verknüpfen.

- In einer bevorzugten Ausführung des Verfahrens werden der Index k zu i und der Index l zu j gleichgesetzt und die Teilinformationen den Bildwiedergabeelementen mittels der Vorschrift

$$\alpha_{ij} = \sum_c a_{cij} g_{cij}(d_f) \quad (2)$$

- zugeordnet. Auf diese Weise werden jedem Bildwiedergabeelement nur Teilinformationen von der gleichen Position (i, j) in den Rastern der Ansichten zugeordnet. Die Größe d_f ist ein Dichtefaktor, der als Werte reelle Zahlen annehmen kann und angibt, Teilinformationen wie vieler Ansichten einem Bildwiedergabeelement im Mittel zugeordnet werden. Dabei ist für jedes Bildwiedergabeelement die gewichtete Summe der zugeordneten Teilinformationen auf 1 normiert, d.h. es gilt $\sum_c g_{cij} = 1$ für alle Paare (i, j).

- In einer zweckmäßigen Ausführung dieses vereinfachten Verfahrens werden die Wichtungsfaktoren g_{cij} nach der Vorschrift

$$\begin{aligned} d_f \cdot g_{cij} = & \delta((\text{Rnd}[(i+j-1) \cdot d_f] - 1) \bmod n + 1 - c) \\ & \cdot [\text{Frac}((i+j-1) \cdot d_f) \cdot \delta(\delta(\text{Frac}[(i+j-1) \cdot d_f])) + \delta(\text{Frac}[(i+j-1) \cdot d_f])] \\ & + \delta((\text{Rnd}[(i+j-2) \cdot d_f] - 1 + \delta(\text{Frac}[(i+j-2) \cdot d_f])) \bmod n + 1 - c) \\ & \cdot [1 - \text{Frac}[(i+j-2) \cdot d_f]] \\ & + \sum_{t=\text{Rnd}[(i+j-2) \cdot d_f] + \delta(\text{Frac}[(i+j-2) \cdot d_f]) + 1}^{\text{Rnd}[(i+j-1) \cdot d_f] - 1} \delta([t-1] \bmod n + 1 - c) \end{aligned} \quad (3)$$

- erzeugt, wobei der Dichtefaktor für alle Bildwiedergabeelemente gleich ist und einen Wert größer als 1, vorzugsweise zwischen 1.3 und 2.0 annimmt. $\delta(x)$ ist eine Funktion, die die Bedingungen $\delta(x=0) = 1$ und $\delta(x \neq 0) = 0$ erfüllt. $\text{Rnd}(x)$ ist eine Funktion, die für Argumente $x \geq 0$ die nächsthöhere ganze Zahl als Funktionswert liefert, sofern der Nachkommaanteil des Arguments x ungleich „Null“ ist, ansonsten liefert sie das Argument x selbst. „mod“ bezeichnet die Restklasse in bezug auf einen Teil

ler. $\text{Frac}(x)$ ist eine Funktion, die für Argumente $x \geq 0$ den Nachkommaanteil des Arguments x als Funktionswert liefert, und t ist eine ganze Zahl, wobei die Summe den Wert „Null“ zugewiesen bekommt, falls die obere Summationsgrenze kleiner ist als die untere Summationsgrenze. Auch mit diesem etwas vereinfachten Verfahrens
5 ist es möglich, bei gleicher Bildschirmauflösung eine höhere Anzahl von Ansichten zu verwenden, wobei der Anteil der Teilinformationen jeder Ansicht groß genug ist, um eine gute Qualität der Darstellung zu erreichen, da die Dichte der Bildinformationen im Betrachtungsraum erhöht wird. Ein konstanter Dichtefaktor garantiert weiterhin, daß alle Ansichten gleichermaßen berücksichtigt werden. Implizit läßt
10 sich durch Verwendung eines konstanten Dichtefaktors auch eine Helligkeitssteigerung erreichen, da für die gleiche Anzahl verwendeter Ansichten mehr Lichtausbreitungsrichtungen vorgegeben werden können, als bei herkömmlichen Verfahren, die als mit einem konstanten Dichtefaktor $d_t = 1$ arbeitend angesehen werden können.

15 Eine spürbare Verbesserung der räumlichen Darstellung kann beim erfindungsgemäßen Verfahren insbesondere dann erreicht werden, wenn der Quotient aus Anzahl der Ansichten und Dichtefaktor nicht ganzzahlig ist. Dies erhöht einerseits die Bewegungsfreiheit des Betrachters, bevor eine sprunghafte Änderung des wahrgenommenen Bildes eintritt, und zum anderen werden Übergänge zwischen Ansichten
20 weniger abrupt wahrgenommen. Bezogen auf das Verfahren durchführende Anordnungen läßt sich außerdem der Abstand zwischen dem Array aus Wellenlängenfiltern und dem Raster aus Bildwiedergabeelementen verringern, da pro Bildflächeneinheit mehr Ansichten zur Darstellung kommen und somit im Betrachtungsraum mehr Auswahlen von Ansichten zur Verfügung stehen.

25 An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß davon zwar die Ausbreitungsrichtungen beeinflußt werden, sich die Zuordnung von Wellenlängenfiltern zu einem Bildwiedergabeelement bzw. von Bildwiedergabeelementen zu einem Wellenlängenfilter nicht ändert, da diese sämtlich fest positioniert sind. Weiterhin sei bemerkt, daß in
30 einer technisch äquivalenten Ausführung der Erfindung statt Filterarrays auch Zylinderlinsen verwendet werden können, mit denen ebenfalls Lichtausbreitungsrichtungen vorgegeben werden können. Das Verfahren läßt sich außerdem selbstverständlich auch mit monochromen Bildgebern umsetzen, wobei dann alle Bildwiedergabeelemente Licht der gleichen Wellenlänge oder des gleichen Wellenlängenbereichs
35 abstrahlen.

Weiterhin sei bemerkt, daß in Gleichung (3) die Elemente des Tensors vorzugsweise symmetrisch bzgl. Zeilen und Spalten sind, d. h. die Verdichtung – die Erhöhung der Dichte der Teilinformationen, die auf einem Bildwiedergabeelement dargestellt werden – erfolgt bei Zeilen und Spalten in gleicher Weise. Gleichung (2) ist jedoch all-

5 gemeiner, und auch der Fall einer asymmetrischen Verdichtung ist darin enthalten, wenn nur zeilen- oder nur spaltenweise eine Verdichtung erfolgen soll, oder diese für Spalten und Zeilen unterschiedlich sein soll. Letzterer Fall entspricht der Verwendung zweier disjunkter Dichtefaktoren: einem für die vertikale und einem für die horizontale Verdichtung. Es seien in diesem Zusammenhang die Dichtefaktoren

10 entsprechend mit d_{fy} und d_{fx} bezeichnet. Im folgenden wird wiederum von Gleichung (2) ausgegangen, wobei der dreistufige Wichtungstensor g_{cij} jetzt jedoch nicht vom (allgemeinen) Dichtefaktor d_r , sondern vielmehr von den disjunkten Dichtefaktoren d_{fy} und d_{fx} abhängt.

- 15 Der Wichtungstensor g_{cij} wird vor Anwendung der Gleichung (2) für jedes Tripel (c,i,j) durch die Gleichung

$$\begin{aligned}
 g_{cij} = & \\
 & \frac{1}{d_{fx} \cdot d_{fy}} \cdot \delta_{inv}(Frac(e_{xa})) \cdot (Rnd(e_{xa}) - e_{xa}) \cdot \delta_{inv}(Frac(e_{ya})) \cdot (Rnd(e_{ya}) - e_{ya}) \cdot \delta(c - EZ(Int(e_{xa}), Int(e_{ya}))) + \\
 & \frac{1}{d_{fx} \cdot d_{fy}} \delta_{inv}(Frac(e_{xa})) \cdot (Rnd(e_{xa}) - e_{xa}) \cdot \delta_{inv}(Frac(e_{ye})) \cdot (Frac(e_{ye})) \cdot \delta(c - EZ(Int(e_{xa}), Int(e_{ye}))) + \\
 & \frac{1}{d_{fx} \cdot d_{fy}} \delta_{inv}(Frac(e_{xe})) \cdot Frac(e_{xe}) \cdot \delta_{inv}(Frac(e_{ye})) \cdot (Frac(e_{ye})) \cdot \delta(c - EZ(Int(e_{xe}), Int(e_{ye}))) + \\
 & \frac{1}{d_{fx} \cdot d_{fy}} \delta_{inv}(Frac(e_{xa})) \cdot Frac(e_{xe}) \cdot \delta_{inv}(Frac(e_{ya})) \cdot (Rnd(e_{ya}) - e_{ya}) \cdot \delta(c - EZ(Int(e_{xa}), Int(e_{ya}))) + \\
 & \sum_{q_k=Rnd(e_{ye})}^{Int(e_{ye}-1)} \frac{1}{d_{fx} \cdot d_{fy}} \delta_{inv}(Frac(e_{xa})) \cdot (Rnd(e_{xa}) - e_{xa}) \cdot \delta(c - EZ(Int(e_{xa}), Int(q_k))) + \\
 & \sum_{p_k=Rnd(e_{xa})}^{Int(e_{xa}-1)} \frac{1}{d_{fx} \cdot d_{fy}} \delta_{inv}(Frac(e_{ye})) \cdot Frac(e_{ye}) \cdot \delta(c - EZ(Int(p_k), Int(e_{ye}))) + \\
 & \sum_{q_k=Rnd(e_{ye})}^{Int(e_{ye}-1)} \frac{1}{d_{fx} \cdot d_{fy}} \delta_{inv}(Frac(e_{xe})) \cdot Frac(e_{xe}) \cdot \delta(c - EZ(Int(e_{xe}), Int(q_k))) + \\
 & \sum_{p_k=Rnd(e_{xa})}^{Int(e_{xa}-1)} \frac{1}{d_{fx} \cdot d_{fy}} \delta_{inv}(Frac(e_{ya})) \cdot (Rnd(e_{ya}) - e_{ya}) \cdot \delta(c - EZ(Int(p_k), Int(e_{ya}))) + \\
 & \sum_{q_k=Rnd(e_{ye})}^{Int(e_{ye}-1)} \sum_{p_k=Rnd(e_{xa})}^{Int(e_{xa}-1)} \frac{1}{d_{fx} \cdot d_{fy}} \cdot \delta(c - EZ(Int(p_k), Int(q_k)))
 \end{aligned} \tag{3a}$$

- 20 ermittelt. Dabei sind e_{xa} , e_{xe} , e_{ya} und e_{ye} Hilfsvariablen, für die die Relationen

$$e_{xa} = i \cdot d_{fx} + offset_{ex} \quad e_{xe} = (i+1) \cdot d_{fx} + offset_{ex}$$

$$e_{ya} = j \cdot d_{fy} + offset_{ey} \quad e_{ye} = (j+1) \cdot d_{fy} + offset_{ey}$$

- 5 gelten. Eine Summe bekommt den Wert „Null“ zugewiesen, falls die obere Summationsgrenze kleiner ist als die untere Summationsgrenze. Weiterhin gelten die Beziehungen $\delta_{inv}(x) = \delta(\delta(x))$, d.h. $\delta_{inv}(x=0)=0$ und $\delta_{inv}(x \neq 0)=1$.

- 10 EZ(v,w) ist eine zweidimensionale Matrix mit Spalten v und Zeilen w, welche ein – noch unverdichtetes – Bildkombinationsmuster festlegt. Ein Eintrag an der Stelle (v,w) entspricht der Nummer einer bestimmten Ansicht. Dabei muß die Anzahl der Spalten v in der Matrix EZ(v,w) mindestens so groß sein, daß sie das Produkt $d_{fx} \cdot (\text{Anzahl der Spalten } i \text{ der Bildelemente } \alpha_{ij})$ übersteigt. Analog soll das Produkt $d_{fy} \cdot (\text{Anzahl der Zeilen } j \text{ der Bildelemente } \alpha_{ij})$ kleiner als die Anzahl der Zeilen w der
- 15 Matrix EZ(v,w) sein.

- Bevorzugt, aber nicht zwingend, werden Matrizen EZ(v,w) verwendet, welche horizontal und/oder vertikal periodische Einträge aufweisen. So kann EZ(v,w) beispielsweise für ein Bildkombinationsmuster aus 24 Ansichten durch die Beziehung
- 20 $EZ(v,w) = (3 \cdot v + 2 \cdot w - 1) \bmod 24 + 1$ vorgegeben sein.

- Zur Normierung der Lage der Ansichten im verdichteten Bild können bei jeder Indexerhöhung für i oder j die Werte $offset_{ex} = (d_{fx}-1) \cdot j - (2 \cdot d_{fx}-2)$ und $offset_{ey} = (d_{fy}-1) \cdot i - (2 \cdot d_{fy}-2)$ gesetzt werden. Dann liegt im resultierenden dichten Kombinationsbild
- 25 diejenige Ansicht links oben, die auch in der Matrix EZ(v,w) an der Stelle (v=1,w=1), d. h. links oben, liegt. Es ist jedoch auch möglich, die Offset-Werte zu $offset_{ex} = offset_{ey} = 0$ zu setzen.

- Obige Gleichung (3a) ist allerdings nicht für Dichtefaktoren kleiner $d_{fx} < 1$ bzw. $d_{fy} < 1$ geeignet. Diese Fälle, die der Dehnung an Stelle der Verdichtung entsprechen, werden im folgenden behandelt.
- 30

Mit Hilfe von Hilfsvariablen e_{xa} , e_{xe} , e_{ya} und e_{ye} , für die die Relationen

$$e_{xa} = i \cdot d_{fx} + 1 - d_{fx} \quad e_{xe} = (i + 1) \cdot d_{fx} + 1 - d_{fx}$$

$$e_{ya} = j \cdot d_{fy} + 1 - d_{fy} \quad e_{ye} = (j + 1) \cdot d_{fy} + 1 - d_{fy}$$

- 5 gelten werden die Elemente des Wichtungstensors g_{cij} bei Dichtefaktoren $d_{fx} \leq 1$ und $d_{fy} \leq 1$, d. h. also eigentlich bei Dehnungsfaktoren, wieder für jedes Tripel (c, i, j) ermittelt, wobei jedoch hier vier Fälle unterschieden werden.

Für den ersten Fall, daß $\text{Int}(e_{xe}) \geq e_{xa}$ und $\text{Int}(e_{ye}) \geq e_{ya}$ sind, gilt:

10

$$g_{cij} = \left[\begin{aligned} & (\text{Int}(e_{xe}) - e_{xa}) \cdot (\text{Int}(e_{ye}) - e_{ya}) \cdot \delta(c - \text{EZ}(\text{Int}(e_{xa}), \text{Int}(e_{ya}))) + \\ & (e_{xe} - \text{Int}(e_{xe})) \cdot (\text{Int}(e_{ye}) - e_{ya}) \cdot \delta(c - \text{EZ}(\text{Int}(e_{xe}), \text{Int}(e_{ya}))) + \\ & (\text{Int}(e_{xe}) - e_{xa}) \cdot (e_{ye} - \text{Int}(e_{ye})) \cdot \delta(c - \text{EZ}(\text{Int}(e_{xa}), \text{Int}(e_{ye}))) + \\ & (e_{xe} - \text{Int}(e_{xe})) \cdot (e_{ye} - \text{Int}(e_{ye})) \cdot \delta(c - \text{EZ}(\text{Int}(e_{xe}), \text{Int}(e_{ye}))) \end{aligned} \right] \cdot \frac{1}{d_{fx} \cdot d_{fy}} \quad (3b).$$

Für den zweiten Fall, daß $\text{Int}(e_{xe}) < e_{xa}$ und $\text{Int}(e_{ye}) \geq e_{ya}$ sind, gilt:

15

$$g_{cij} = \left[\begin{aligned} & (e_{xe} - e_{xa}) \cdot (\text{Int}(e_{ye}) - e_{ya}) \cdot \delta(c - \text{EZ}(\text{Int}(e_{xa}), \text{Int}(e_{ya}))) + \\ & (e_{xe} - e_{xa}) \cdot (e_{ye} - \text{Int}(e_{ye})) \cdot \delta(c - \text{EZ}(\text{Int}(e_{xa}), \text{Int}(e_{ye}))) \end{aligned} \right] \cdot \frac{1}{d_{fx} \cdot d_{fy}} \quad (3c).$$

Für den dritten Fall, daß $\text{Int}(e_{xe}) \geq e_{xa}$ und $\text{Int}(e_{ye}) < e_{ya}$ sind, gilt:

$$g_{cij} = \left[\begin{aligned} & (\text{Int}(e_{xe}) - e_{xa}) \cdot (e_{ye} - e_{ya}) \cdot \delta(c - \text{EZ}(\text{Int}(e_{xa}), \text{Int}(e_{ya}))) + \\ & (e_{xe} - \text{Int}(e_{xe})) \cdot (e_{ye} - e_{ya}) \cdot \delta(c - \text{EZ}(\text{Int}(e_{xe}), \text{Int}(e_{ya}))) \end{aligned} \right] \cdot \frac{1}{d_{fx} \cdot d_{fy}} \quad (3d).$$

20

Für den vierten Fall, daß $\text{Int}(e_{xe}) < e_{xa}$ und $\text{Int}(e_{ye}) < e_{ya}$ gilt:

$$g_{cij} = \left[(e_{ye} - e_{ya}) \cdot (e_{xe} - e_{xa}) \cdot \delta(c - \text{EZ}(\text{Int}(e_{xa}), \text{Int}(e_{ya}))) \right] \cdot \frac{1}{d_{fx} \cdot d_{fy}} \quad (3e).$$

Damit sind alle möglichen Fälle erfaßt.

- 25 Diese Vorschrift zur Erstellung des Wichtungstensors g_{cij} stellt im übrigen auch sicher, daß gilt: $\sum_c g_{cij} = 1$ für alle Paare (i, j) .

Mit den hier gegebenen Vorschriften für die Dichtefaktoren d_x und d_y ist es möglich, in der horizontalen und der vertikalen Richtung jeweils unterschiedlich starke Verdichtungen bzw. Dehnungen anzusetzen. Diese Möglichkeit ist insbesondere dann von großem Vorteil, wenn dichte oder gedehnte Bilder für Filterarrays erstellt werden sollen, welche in vertikaler und horizontaler Richtung unterschiedliche Periodizitäten zwischen den enthaltenen transparenten bzw. transluzenten Filterelementen aufweisen. Außerdem ergeben sich Vorteile für den Fall, daß die vorgegebene Matrix $EZ(v,w)$ unterschiedliche vertikale und horizontale Periodizitäten aufweist.

Selbstverständlich sind die Gleichungen unter den jeweiligen Voraussetzungen auch anwendbar für den Fall, daß $d_x = d_y$ gilt. Für die praktisch selten vorkommenden Fälle, daß $d_x \leq 1$ und gleichzeitig $d_y > 1$ bzw. daß $d_x > 1$ und gleichzeitig $d_y \leq 1$ gilt, wird hier keine Gleichung angegeben, diese Fälle sind jedoch in den Gleichungen (1) und auch (2) vollständig enthalten.

Denkbar ist in diesem Zusammenhang auch eine zeitabhängige Anwendung, wenn die Ansichten der Szene in mindestens zwei Sätze aufgeteilt werden, wobei die Ansichten aus verschiedenen Perspektiven aufgenommen sind, jedoch einen gemeinsamen Fluchtpunkt haben, und die Anzahl der Ansichten von Satz zu Satz unterschiedlich ist, der Winkel zwischen zwei Ansichten desselben Satzes jeweils gleich ist und die äußersten Ansichten links und rechts in allen Sätzen gleich sind. Die Ansichten jedes Satzes werden nach dem obigen Gleichungen miteinander kombiniert, wobei jeweils jedem Satz ein eigener Dichtefaktor zugeordnet ist, der zum Beispiel so gewählt werden kann, daß der Quotient aus der Anzahl der Ansichten eines Satzes und des Dichtefaktors dieses Satzes für alle Sätze konstant ist. Werden die so erzeugten Kombinationsbilder in schnell alternierender Folge mit einer Frequenz oberhalb der Grenzfrequenz, die das menschliche Auge noch als Flimmern wahrnimmt, gezeigt, so wird der räumliche Eindruck verfeinert, da ein Betrachter eine Mischung aller Ansichten wahrnimmt.

Mittels der gewichteten Zuordnung läßt sich ebenfalls erreichen, daß Teilinformationen je nach Wichtungsanteil im Mittel verschoben erscheinen. Wird z. B. zwei benachbarten Bildwiedergabeelementen dieselbe Information je zur Hälfte zugeordnet, so erscheint sie im Mittel genau zwischen diesen. Wird diese Wichtung zeitlich variabel durchgeführt, so kann bei einem stereoskopischen Trackingverfahren die

Qualität der Darstellung verbessert werden, da der Bildinhalt der Augenposition des Betrachters kontinuierlich nachgeführt werden kann und Sprünge, die sonst durch die diskrete Anzahl von Bildwiedergabeelementen und deren Ausdehnung bedingt werden, im wesentlichen vermieden werden. Bewegte Optiken sind in diesem Fall
5 ebenfalls nicht nötig, was von großem Vorteil ist.

In einer weiteren zweckmäßigen Ausführung der Erfindung wird der Dichtefaktor nach der Vorschrift $d_t = f$ bestimmt, wobei f eine positive reelle Zahl ist, die nach der Vorschrift $f = d_a / (z + d_a)$ bestimmt wird und z der Abstand zwischen dem Raster aus
10 Bildwiedergabeelementen und dem Array aus Wellenlängenfiltern ist, und d_a ein wählbarer Betrachtungsabstand ist, der im wesentlichen dem mittleren aller im gesamten Betrachtungsraum möglichen Abstände zwischen dem Raster aus Bildwiedergabeelementen und einem Betrachter bzw. einer Betrachtungsposition entspricht. Indem dem Dichtefaktor der Wert f zugewiesen wird, der explizit vom Abstand zwischen dem Array aus Wellenlängenfiltern und dem Raster aus Bildwiedergabeelementen abhängt, wird die Zuweisung der Teilinformationen so korrigiert, d.
15 h. dem Strahlensatz angepaßt, daß sie der physischen Korrektur mit dem Korrekturfaktor f entspricht. Dies ermöglicht zweierlei: Zum einen können nun Wellenlängenfilterarrays und das Raster aus Bildwiedergabeelementen die gleichen Abmaße besitzen, was zu einer Vereinfachung bei der Herstellung von Anordnungen führt, die ein solches Verfahren anwenden. Zum anderen kann, da der mittlere Betrachtungsabstand in den Dichtefaktor eingeht, dieser leicht an veränderte Abstände eines Betrachters oder einer Gruppe von Betrachtern angepaßt werden, so daß die Qualität der Darstellung verbessert wird. Auch eine Kombination dieser Zuweisungsvorschrift mit einem Trackingverfahren ist denkbar, wobei der Dichtefaktor dann immer dem Abstand eines Betrachters oder dem mittleren Abstand mehrerer Betrachter kontinuierlich angepaßt werden kann.
20
25

Eine weitere vorteilhafte Ausführung der Erfindung erlaubt die Anpassung des auf
30 einem Bildgeber dargestellten Bildes an ein vorgegebenes Filterarray, welches allgemein zur 3D-Darstellung nach dem im Hauptanspruch genannten Oberbegriff geeignet ist.

In der Regel wird ein solches Filterarray für einen bestimmten Bildgeber mit fester
35 horizontaler bzw. vertikaler Bildelementperiode erstellt. Im Rahmen der Erfindung kann nun der Bildgeber vermöge einer Bilderstellung nach den Gleichungen (2) und

beispielsweise auch (3) derart gesteuert werden, daß er in Kombination mit einem Filterarray, welches ursprünglich für die 3D-Darstellung im Zusammenspiel mit einem Bildgeber mit abweichender horizontaler bzw. vertikaler Bildelementperiode erzeugt wurde, verwendet werden kann.

5

Vorausgesetzt, daß in diesem Filterarray bereits ein bestimmter Korrekturfaktor f eingeflossen ist und daß das Filterarray vor dem genannten Bildgeber im gleichen Abstand angeordnet ist, wird nun der Dichtefaktor zu $d_f = C_{h2}/C_{h1}$ gesetzt, wobei C_{h1} die horizontale Bildelementperiode des Bildgebers ist, für die das Filterarray ursprünglich erstellt wurde. C_{h2} ist demnach die horizontale Bildelementperiode des in Kombination mit dem erfindungsgemäßen Verfahren verwendeten Bildgebers. Falls der Abstand z des Filterarrays zum eingesetzten Bildgeber variiert wird, kann der so ermittelte Dichtefaktor ggf. noch mit einem weiteren Korrekturfaktor f' , für den $0,9 < f' < 1,1$ gilt, multipliziert werden.

15

Mittels dieser letztgenannten vorteilhaften Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es beispielsweise auch möglich, eine Filterarrayscheibe für eine bestimmte horizontale Bildelementperiode zu erzeugen und diese dann auf in den Parametern abweichenden Bildgebern zu verwenden. So könnte z.B. ein rechteckiges Filterarray von etwa 15" Diagonale auf einer Scheibe auflaminiert werden, welches für eine horizontale Bildelementperiode von 299µm optimiert ist. Soll diese Filterarrayscheibe auf einem 15"-Bildgeber mit 302µm Periode verwendet werden, ist das darzustellende Bild einfach nach den Gleichungen (2) und (3) zu generieren, wobei $d_f = 302 \mu\text{m} / 299 \mu\text{m} = 1,010033444$ anzusetzen ist.

25

Das Filterarray kann nach der Verwendung des letztgenannten Bildgebers von diesem leicht wieder entfernt und auf einem wiederum anderen Bildgeber eingesetzt werden.

30

Im letztgenannten Anwendungsfall kann sich auch die weiter vorn genannte Verwendung zweier disjunkter Dichtefaktoren für die Vertikale und die Horizontale bewähren.

35

Vermöge der hier beschriebenen Lehre der Bildkombination unter Verwendung eines Tensors g_{cklj} bzw. eines Tensors g_{clj} ist es darüber hinaus möglich, Verdrehungen (etwa um die Achse der Betrachtungsrichtung) zwischen dem Bildgeber und dem

Filterarray auszugleichen. Der jeweilige Tensor sorgt in diesem Falle nicht nur für eine dichte bzw. gedehnte Bildkombination, sondern hat gewissermaßen zugleich auch die Funktion einer Drehmatrix, welche die dargestellten Teilinformationen a_{ckl} den Bildwiedergabeelementen α_{ij} entsprechend der Verdrehung zwischen Bildgeber
 5 und Filterarray leicht verdreht zuweist.

In einer weiteren bevorzugten Ausführung des Verfahrens werden die Wichtungsfaktoren nach der Vorschrift

$$g_{cij} = \sum_{t=-Rnd\left(\frac{d_f(i,j)-1}{2}\right)}^{Rnd\left(\frac{d_f(i,j)-1}{2}\right)} \delta\left(\left[i+j+t-1+Int\left(\frac{n}{2}\right)\right] \bmod n + 1 - c\right) \cdot \left\{ \right. \\
\frac{1}{d_f(i,j)} \delta\left[Rnd\left(\frac{d_f(i,j)-1}{2}\right) - t\right] \cdot \frac{1}{d_f(i,j)} \delta\left[Rnd\left(\frac{d_f(i,j)-1}{2}\right) + t\right] \cdot \frac{1}{d_f(i,j)} \delta\left[\delta\left[Rnd\left(\frac{d_f(i,j)-1}{2}\right) - t\right] + \delta\left[Rnd\left(\frac{d_f(i,j)-1}{2}\right) + t\right]\right] \right\} \quad (4)$$

10

erzeugt, wobei der Dichtefaktor in diesem Fall von der Position (i, j) im Raster der Bildwiedergabeelemente abhängt. Diese Variante des Verfahrens bietet sich insbesondere dann an, wenn nur wenige Ansichten insgesamt zur Verfügung stehen. Die explizite Abhängigkeit des Dichtefaktors von der Position bietet vor allem die Mög-
 15 lichkeit, daß der Effekt der sprunghaften Änderung an den Übergängen von der letzten zur ersten Ansicht vermindert wird, in dem nur an diesen Stellen, möglicherweise in vermindertem Maße auch in der Umgebung dieser Stellen, Teilinformationen der jeweiligen Ansichten verdichtet kombiniert einem Bildwiedergabeelement zugeordnet werden, ansonsten aber jeweils nur die Bildinformation einer Ansicht pro
 20 Bildwiedergabeelement gezeigt wird.

Vorzugsweise wird dabei der Dichtefaktor durch die Funktion

$$d_f = \frac{e^{\left[-\left(i+j-Int\left[\frac{i+j}{n}\right]n-\frac{n+1}{2}\right)^2\right]}}{C_{peak}} + d_f^{offset} \quad (5)$$

25

beschrieben, mit einem wählbaren, reellen und positiven Parameter c_{peak} , einem wählbaren, reellen und positiven Parameter d_{offset} , der eine Verschiebung der Funktionswerte zu höheren Werten veranlaßt und der Funktion $\text{Int}(x)$, die die größte ganze Zahl als Funktionswert liefert, welche das Argument x nicht übersteigt.

5

Eine weitere Möglichkeit, die sich bei Verwendung der Gleichungen (1) und (2) eröffnet, und bei der ebenfalls nicht allen Bildwiedergabeelementen Teilinformationen mehrerer Ansichten zugeordnet werden, ist die Zuordnung von Teilinformationen aus einer Anzahl von m Ansichten auf eine Anzahl s benachbarter Bildwiedergabeelemente, wobei m kleiner als s ist. Dies kommt einer Dehnung bei der Bilddarstellung gleich. Auf einigen Bildwiedergabeelementen werden Teilinformationen lediglich einer Ansicht dargestellt, während anderen Bildwiedergabeelementen gleichzeitig Teilinformationen mehrerer Ansichten zugeordnet werden. Wenn z. B. acht fortlaufende Ansichten auf neun horizontal benachbarte Bildwiedergabeelemente aufgeteilt werden, so wird dem ersten Bildwiedergabeelement lediglich eine Teilinformation der ersten Ansicht zugeordnet, während dem zweiten Bildwiedergabeelement $1/8$ einer Teilinformation der ersten Ansicht und $7/8$ einer Teilinformation der zweiten Ansicht zugeordnet werden. Dem dritten Bildwiedergabeelement wiederum werden $2/8$ einer Teilinformation der zweiten Ansicht und $6/8$ einer Teilinformation der dritten Ansicht zugeordnet. Dem neunten. Bildwiedergabeelement schließlich wird ausschließlich eine Teilinformation der achten Ansicht zugeordnet. Diese Zuordnung wiederholt sich periodisch in jeder Zeile.

In einer praktischen Ausführung kann die vorstehend beschriebene Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens an einem Plasmabildschirm, z. B. einem Sony PFM-42B-Gerät, welche mit einem entsprechendem Filterarray ausgestattet ist, umgesetzt werden. Dieser Bildschirm verfügt über eine physische Auflösung von 1024×1024 Bildpunkten und kann unter anderem mit einer Bildauflösung von 1024×768 angesteuert werden, wobei hier ein dreidimensionales Bild für die Ansteuerung zu Grunde gelegt wird, welches in jedem Bildelement Bildinformation exakt einer Ansicht zeigt. Dabei findet die Dehnung bei der tatsächlichen Bilddarstellung inhärent in der Vertikalen statt, da im Zuge der Darstellung von 768 Bildinformationszeilen auf 1024 tatsächlichen Bildelementzeilen also jeweils Bildinformation dreier Zeilen – dies entspricht bei der oben genannten Ansteuerung in der Regel drei Ansichten – auf vier physische Bildschirmzeilen aufgeteilt wird. Die Qualität der dreidimensionalen Darstellung wird insofern verbessert, als daß der gesamte

Bildschirm und nicht nur ein Teilbereich ausgenutzt wird, ohne daß Abstriche am räumlichen Eindruck zu machen wären.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

- 5 Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden. In den zugehörigen Zeichnungen zeigt

- Fig.1 ein Beispiel zur verdichteten Kombination von Teilinformationen zweier Ansichten von unterschiedlicher Größe,
- 10 Fig.2 eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Anordnung, bei der in Blickrichtung eines Betrachters zunächst ein Wellenlängenfilterarray und dahinter ein Raster mit Bildwiedergabeelementen, welches mit einer Ansteuerung versehen ist, angeordnet ist,
- Fig.3 für einige Tripel (c, i, j) Werte des dreistufigen Tensors g_{cij} , die nach der
- 15 Gleichung (2) mit einem Faktor $d_i = 1,5$ für insgesamt $n = 12$ Ansichten erzeugt wurden,
- Fig.4 die gewichtete Zuordnung der einzelnen Ansichten zu den Bildwiedergabeelementen auf einem Raster aus RGB-Subpixeln, ebenfalls für $n = 12$ Ansichten mit einem Dichtefaktor von $d_i = 1,5$,
- 20 Fig.5 ein Wellenlängenfilterarray aus transparenten und opaken Filtern,
- Fig.6 die Sichtverhältnisse für ein Auge in einer ersten Position,
- Fig.7 die Sichtverhältnisse für ein Auge in einer zweiten Position,
- Fig.8 die gewichtete Zuordnung der einzelnen Ansichten zu den Bildwiedergabeelementen auf einem Raster aus RGB-Subpixeln, ebenfalls für $n = 12$ Ansichten mit einem Dichtefaktor von $d_i = 1,7$.
- 25

Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

- In Fig.1 ist beispielhaft für zwei monochrome Ansichten der Größen 4×4 und 8×8
- 30 dargestellt, wie Teilinformationen zweier Ansichten unterschiedlicher Größe mit Hilfe von Formel (1) verdichtet miteinander kombiniert und als ein Bild dargestellt werden können. Die Zahlen in den Rastern entsprechen dabei monochromen Farbwerten, d. h. Graustufen. Die verdichtete Kombination beider Ansichten zu einem Bild mit der Größe der kleineren der beiden Ansichten ist im unteren Teil der Fig.1
- 35 dargestellt. Je eine Information der Ansicht $c = 1$ wird mit vier Informationen der Ansicht $c = 2$ verknüpft. Für die dem Bildwiedergabeelement α_{ij} zugeordneten In-

formationen werden die Elemente des Tensors in dem Beispiel wie folgt gewählt: $g_{11111} = 0,8$ und $g_{21111} = g_{22111} = g_{22211} = g_{21211} = 0,05$. Diese Werte werden mit dem jeweiligen Graustufenwert der Bildinformation multipliziert und ergeben in der Summe den Graustufenwert des Bildwiedergabeelements des Kombinationsbildes.

5

In Fig.2 ist eine Anordnung gezeigt, die zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist. Zur Bildwiedergabe ist hier ein Farb-LC-Display 1 mit roten (R), grünen (G) und blauen (B) Subpixeln, welches mit einer Ansteuerung 2 versehen ist, vorgesehen, wobei einem Bildwiedergabeelement ein Subpixel R, G oder B entspricht. Als Array mit Wellenlängenfiltern 3 ist ein statisches Wellenlängenfilterarray vorgesehen, z. B. in Form einer bedruckten Folie. Auch andere Anordnungen sind denkbar, z. B. die Verwendung eines weiteren Farb-LC-Displays als Wellenlängenfilterarray 3, sofern sich das Verfahren mit ihnen durchführen läßt. Bei der Anordnung zur beispielhaften Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens blickt ein Betrachter 4 in einem Betrachtungsraum 5 zunächst auf das Wellenlängenfilterarray 3, dem das Farb-LC-Display 1 nachgeordnet ist.

10

15

Im Beispiel sollen 12 Ansichten jeweils zeilen- und spaltenweise mit einem konstanten Dichtefaktor $d_r = 1,5$ verdichtet werden. Mit einem Dichtefaktor von 1,5 können 12 Ansichten periodisch auf acht Bildwiedergabeelementen verdichtet dargestellt werden. Dabei sollen die einem Bildwiedergabeelement α_{ij} zugeordneten Teilinformationen aus den Ansichten jeweils von derselben Rasterstelle (i, j) stammen. Jedem Bildwiedergabeelement werden im Mittel 1,5 Teilinformationen zugeordnet. Für den hier zur Verwendung kommenden dreistufigen Tensor g_{cij} lassen sich nun nach Gleichung (2) die Elemente bestimmen, von denen einige in Fig.3 für verschiedene Tripel (c, i, j) angegeben sind.

20

25

In Fig.4 ist für die gewählte Konfiguration ein Ausschnitt des Rasters aus Bildwiedergabeelementen dargestellt. Je ein Kästchen verkörpert ein Bildwiedergabeelement. In die Kästchen eingetragen sind die Nummern der Ansichten, aus denen die Teilinformationen dem Bildwiedergabeelement zugeordnet worden, versehen mit der jeweiligen Wichtung als Vorfaktor.

30

In Fig.5 ist ein Filterarray dargestellt, wie es in der Anordnung zu beispielhaften Durchführung eingesetzt sein kann, es ist jedoch nicht speziell auf dieses Verfahren zugeschnitten. Das dargestellte Wellenlängenfilterarray besteht in einer typischen

35

- Ausführung aus einer mit transparenten und opaken Filtern, die jeweils als weiß bzw. schwarz gekennzeichnet sind, bedruckten Folie. Auch farbige Wellenlängenfilter wären denkbar, sowie ein mit einer zweiten Ansteuerung versehenes Wellenlängenfilterarray, bei dem die Transparenzwellenlängenbereiche mittels der zweiten
- 5 Ansteuerung verändert werden können. Höhe und Breite der Filterelemente entsprechen hier im wesentlichen den Abmaßen der Bildwiedergabeelemente, die Breite der Filterelemente wird mit p_t bezeichnet. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß die Darstellungen von Rastern aus Bildwiedergabeelementen und von Wellenlängenfilterarrays nicht maßstabsgetreu sind und jeweils nur einen Ausschnitt aus
- 10 einem Raster bzw. Array zeigen. Das in Fig.5 gezeigte Array ist im vorbekannten Verfahren, bei dem nur die Teilinformation einer Ansicht einem Bildwiedergabeelement zugeordnet wird, zur Darstellung von acht Ansichten ausgelegt: In jeder Zeile und Spalte befinden sich transparente Filter an jeder achten Rasterposition. Mit einem Dichtefaktor von 1,5 ist es möglich, 12 Ansichten so darzustellen, daß das
- 15 gleiche Filterarray benutzt werden kann. Implizit kommt dies einer Helligkeitssteigerung gleich, da die Anzahl der transparenten Filter größer ist, als sie für ein nach den vorbekannten Verfahren für 12 Ansichten ausgelegtes Wellenlängenfilterarray wäre.
- 20 In Fig.6 und Fig.7 ist beispielhaft dargestellt, was die beiden Augen eines Betrachters unter diesen Voraussetzungen jeweils wahrnehmen können. Dabei sind die mit $1/d_t$ gewichteten Ansichten mit großen Zahlen gekennzeichnet, die mit $0,5/d_t$ gewichteten Ansichten mit kleinen. Da beide Augen schließlich überwiegend im Mittel verschiedene Ansichten wahrnehmen, wird ein dreidimensionaler Eindruck erweckt.
- 25 An dieser Stelle soll noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß ein Dichtefaktor von 1,5 nur als anschauliches Beispiel gedacht ist, da sich in der Anwendung eher solche Dichtefaktoren als günstig erweisen, die, wenn man die Gesamtzahl der Ansichten n durch den Dichtefaktor dividiert, ein nichtganzzahliges
- 30 Ergebnis liefern. Dies geht beispielsweise aus Fig. 8 hervor, die für $n = 12$ Ansichten eine gewichtete Zuordnung der einzelnen Ansichten zu den Bildwiedergabeelementen auf einem Raster aus RGB-Subpixeln mit einem Dichtefaktor von $d_t = 1,7$ zeigt. Die gepunkteten Kästchen markieren dabei die Lage der Wellenlängenfilter, und jeweils im Abstand von $n/d_t \cdot p_t$ befindet sich ein transparenter Filter der Breite p_t ,
- 35 die restlichen Gebiete sind opak. Während die ersten transparenten Filter von links in einer Zeile noch direkt über den Bildelementen positioniert sind, sind die weiter

rechts angeordneten aufgrund der Wahl des Dichtefaktors jeweils um ein kleines Stück nach rechts verschoben. Dies erhöht die Beweglichkeit eines Betrachters im Vergleich zur oben beschriebenen Ausführung, da jeweils dieselbe Ansicht nun in einem größeren Winkelbereich sichtbar bleibt. Weiterhin werden Übergänge zwischen Ansichten weniger abrupt wahrgenommen.

5

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur räumlichen Darstellung einer Szene oder eines Gegenstandes auf der Grundlage von mehreren Ansichten (A_c) der Szene oder des Gegenstandes, bei dem
- die Ansichten (A_c) auf Rastern (R_c) mit Spalten (k) und Zeilen (l) in eine Vielzahl von Teilinformationen (a_{ckl}), die durch ihre Wellenlänge charakterisiert sind, zerlegt werden, mit $c = 1, \dots, n$ und (n) der Gesamtzahl von Ansichten,
 - 10 - die Teilinformationen (a_{ckl}) optisch wahrnehmbar auf Bildwiedergabeelementen (α_{ij}), die in einem Raster aus Spalten (i) und Zeilen (j) angeordnet sind, wiedergegeben werden,
 - benachbarte Bildwiedergabeelemente (α_{ij}) Licht verschiedener Wellenlängen (λ) bzw. verschiedener Wellenlängenbereiche ($\Delta\lambda$) abstrahlen,
 - 15 - für das abgestrahlte Licht Ausbreitungsrichtungen vorgegeben werden durch ein oder mehrere Arrays aus einer Vielzahl einzelner, in Spalten (p) und Zeilen (q) angeordneter Wellenlängenfilter (β_{pq}), die für verschiedene Wellenlängen (λ) oder verschiedene Wellenlängenbereiche ($\Delta\lambda$) transparent sind und dem Raster mit den Bildwiedergabeelementen (α_{ij}) in Blickrichtung vor- oder nachgeordnet sind, wobei jeweils ein Bildwiedergabeelement (α_{ij}) mit mehreren zugeordneten Wellenlängenfiltern (β_{pq}) oder ein Wellenlängenfilter (β_{pq}) mit mehreren zugeordneten Bildwiedergabeelementen (α_{ij}) derart korrespondiert, daß jeweils die Verbindungsgerade zwischen dem Schwerpunkt der Querschnittsfläche eines sichtbaren Abschnitts des Bildwiedergabeelements (α_{ij}) und dem Schwerpunkt der Querschnittsfläche eines sichtbaren Abschnitts des Wellenlängenfilters (β_{pq}) einer Ausbreitungsrichtung entspricht, so daß von jeder Betrachtungsposition aus ein Betrachter mit einem Auge überwiegend Teilinformationen einer ersten Auswahl und mit dem anderen Auge überwiegend Teilinformationen einer zweiten Auswahl aus den Ansichten (A_c) optisch wahrnimmt, **dadurch gekennzeichnet, daß**
 - 20 - mindestens einem Bildwiedergabeelement (α_{ij}) Teilinformationen (a_{ckl}) aus mindestens zwei verschiedenen Ansichten (A_c) gleichzeitig zugeordnet werden,
 - 25
 - 30

- wobei die Zuordnung so erfolgt, daß die Wellenlänge der Teilinformation (a_{ckl}) stets mit der Wellenlänge (λ) des von dem zugeordneten Bildwiedergabeelement (α_{ij}) abgestrahlten Lichts übereinstimmt oder im Wellenlängenbereich ($\Delta\lambda$) des von dem zugeordneten Bildwiedergabeelement (α_{ij}) abgestrahlten Lichts liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
 - die Teilinformationen (a_{ckl}) den Bildwiedergabeelementen (α_{ij}) mittels der Vorschrift

$$\alpha_{ij} = \sum_c \sum_k \sum_l a_{ckl} \cdot g_{cklij}$$

zugeordnet werden, wobei

- (g) ein Tensor fünfter Stufe ist, dessen Elemente (g_{cklij}) reelle Zahlen sind und die Wirkung von Wichtungsfaktoren, die das Gewicht der betreffenden Teilinformation (a_{ckl}) in einem Bildelement (α_{ij}) bestimmen, haben.

3. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß

- der Index k zu i und der Index l zu j gleichgesetzt werden,
- die Teilinformationen (a_{ckl}) den Bildelementen (α_{ij}) mittels der Vorschrift

$$\alpha_{ij} = \sum_c a_{cij} g_{cij} (d_f)$$

zugeordnet werden, wodurch

- jedem Bildwiedergabeelement (α_{ij}) nur Teilinformationen (a_{cij}) von gleichen Positionen (i, j) in den Rastern (R_c) der Ansichten (A_c) zugeordnet werden, und wobei

- (d_f) ein Dichtefaktor ist, der als Werte reelle Zahlen annehmen kann und angibt, Teilinformationen (a_{cij}) wie vieler Ansichten einem Bildwiedergabeelement (α_{ij}) im Mittel zugeordnet werden, wobei für jedes Bildwiedergabeelement (α_{ij}) die gewichtete Summe der zugeordneten Teilinformationen (a_{cij}) auf 1 normiert ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Wichtungsfaktoren (g_{cij}) nach der Vorschrift

$$\begin{aligned}
d_f \cdot g_{cij} = & \delta((Rnd[(i+j-1) \cdot d_f] - 1) \bmod n + 1 - c) \\
& \cdot [Frac((i+j-1) \cdot d_f) \cdot \delta(\delta(Frac[(i+j-1) \cdot d_f])) + \delta(Frac[(i+j-1) \cdot d_f])] \\
& + \delta((Rnd[(i+j-2) \cdot d_f] - 1 + \delta(Frac[(i+j-2) \cdot d_f])) \bmod n + 1 - c) \\
& \cdot [1 - Frac[(i+j-2) \cdot d_f]] \\
& + \sum_{t=Rnd[(i+j-2) \cdot d_f] + \delta(Frac[(i+j-2) \cdot d_f]) + 1}^{Rnd[(i+j-1) \cdot d_f] - 1} \delta([t-1] \bmod n + 1 - c)
\end{aligned}$$

erzeugt werden, wobei

- der Dichtefaktor (d_f) für alle Bildwiedergabeelemente (α_{ij}) gleich ist und einen Wert größer als 1, vorzugsweise zwischen 1.3 und 2.0 annimmt,
- $\delta(x)$ eine Funktion ist, die die Bedingungen $\delta(x=0) = 1$ und $\delta(x \neq 0) = 0$ erfüllt,
- $Rnd(x)$ eine Funktion ist, die für Argumente $x \geq 0$ die nächsthöhere ganze Zahl als Funktionswert liefert, sofern der Nachkommaanteil des Arguments (x) ungleich „Null“ ist, und ansonsten das Argument (x) selbst,
- „mod“ die Restklasse in bezug auf einen Teiler bezeichnet,
- $Frac(x)$ eine Funktion ist, die für Argumente $x \geq 0$ den Nachkommaanteil des Arguments (x) als Funktionswert liefert, und
- (t) ein ganze Zahl ist, und die Summe den Wert „Null“ zugewiesen bekommt, falls die obere Summationsgrenze kleiner als die untere Summationsgrenze ist.

5. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Dichtefaktor (d_f) nach der Vorschrift

$$d_f = f$$

bestimmt wird, und (f) eine positive reelle Zahl ist, die nach der Vorschrift bestimmt wird, wobei

$$f = \frac{d_a}{z + d_a}$$

- (z) der Abstand zwischen dem Raster aus Bildwiedergabeelementen (α_{ij}) und dem Array aus Wellenlängenfiltern (β_{pq}) ist, und
- (d_a) ein wählbarer Betrachtungsabstand ist, der im wesentlichen dem mittleren aller im gesamten Betrachtungsraum möglichen Abstände zwischen dem Ra-

ster aus Bildwiedergabeelementen (α_j) und einem Betrachter bzw. einer Betrachtungsposition entspricht.

6. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß
 5 – die Wichtungsfaktoren nach der Vorschrift

$$g_{cij} = \sum_{t=-Rnd\left(\frac{d_f(i,j)-1}{2}\right)}^{Rnd\left(\frac{d_f(i,j)-1}{2}\right)} \delta\left(\left[i+j+t-1+Int\left(\frac{n}{2}\right)\right] \bmod n+1-c\right) \cdot \left\{ \right.$$

$$\frac{1}{d_f(i,j)} \delta\left[Rnd\left(\frac{d_f(i,j)-1}{2}\right)-t\right] \cdot Frac\left(\frac{d_f(i,j)-1}{2}\right) +$$

$$\frac{1}{d_f(i,j)} \delta\left[Rnd\left(\frac{d_f(i,j)-1}{2}\right)+t\right] \cdot Frac\left(\frac{d_f(i,j)-1}{2}\right) +$$

$$\left. \frac{1}{d_f(i,j)} \delta\left[\delta\left[Rnd\left(\frac{d_f(i,j)-1}{2}\right)-t\right] + \delta\left[Rnd\left(\frac{d_f(i,j)-1}{2}\right)+t\right]\right] \right\}$$

erzeugt werden, wobei

- der Dichtefaktor (d_f) von der Position (i, j) im Raster der Bildwiedergabeelemente (α_j) abhängt.
 10

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Dichtefaktor (d_f) durch die Funktion

$$d_f = \frac{e^{\left[-\left(i+j-Int\left[\frac{i+j}{n}\right]n-\frac{n+1}{2}\right)^2\right]}}{c_{peak}} + d_f^{offset}$$

- 15 beschrieben wird, mit

- einem wählbaren, reellen und positiven Parameter (c_{peak}),
 – einem wählbaren, reellen und positiven Parameter (d_f^{offset}), der eine Verschiebung der Funktionswerte zu höheren Werten veranlaßt, und
 – der Funktion $Int(x)$, die die größte ganze Zahl als Funktionswert liefert, welche
 20 das Argument (x) nicht übersteigt.

1/8

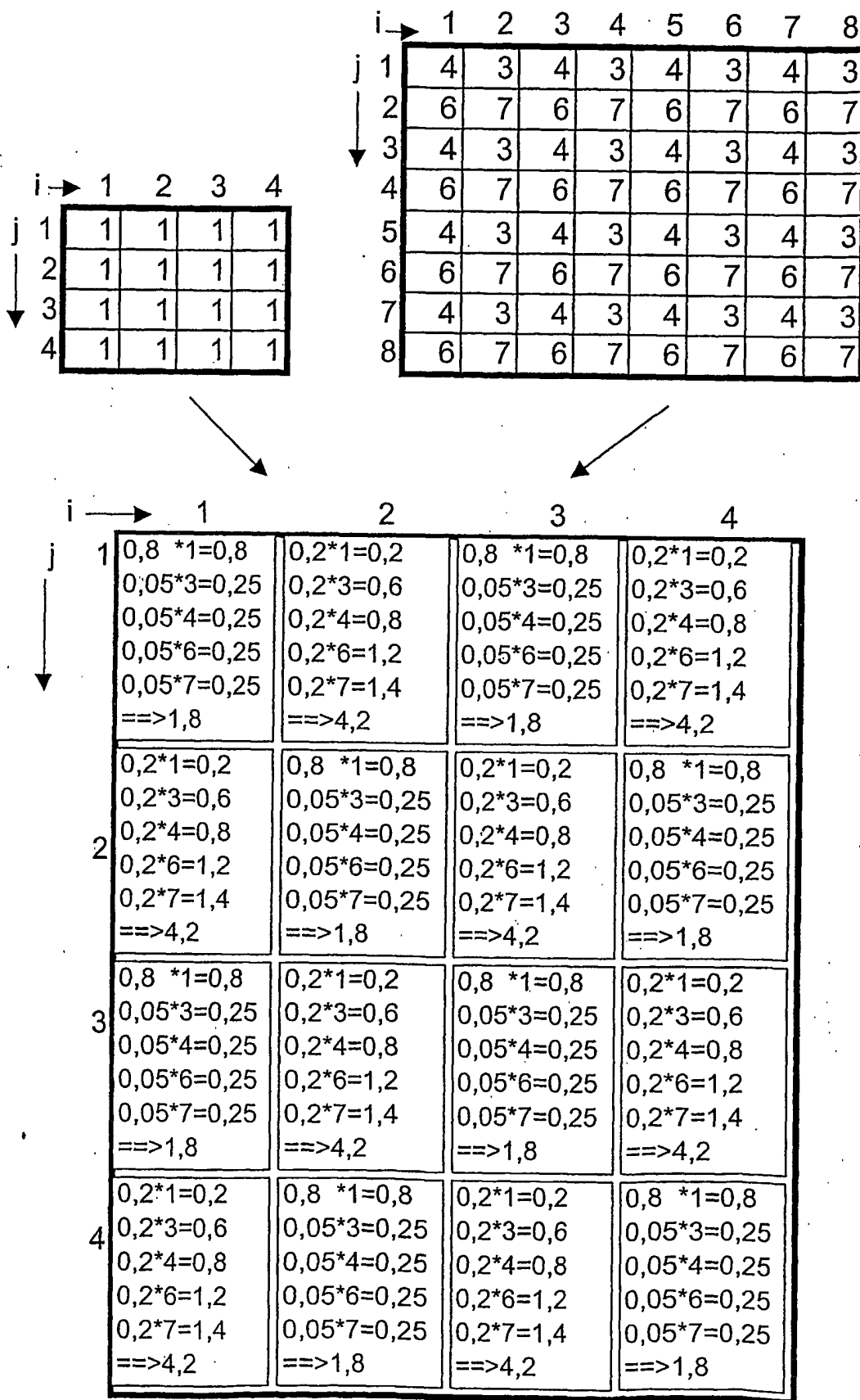


Fig. 1

2/8

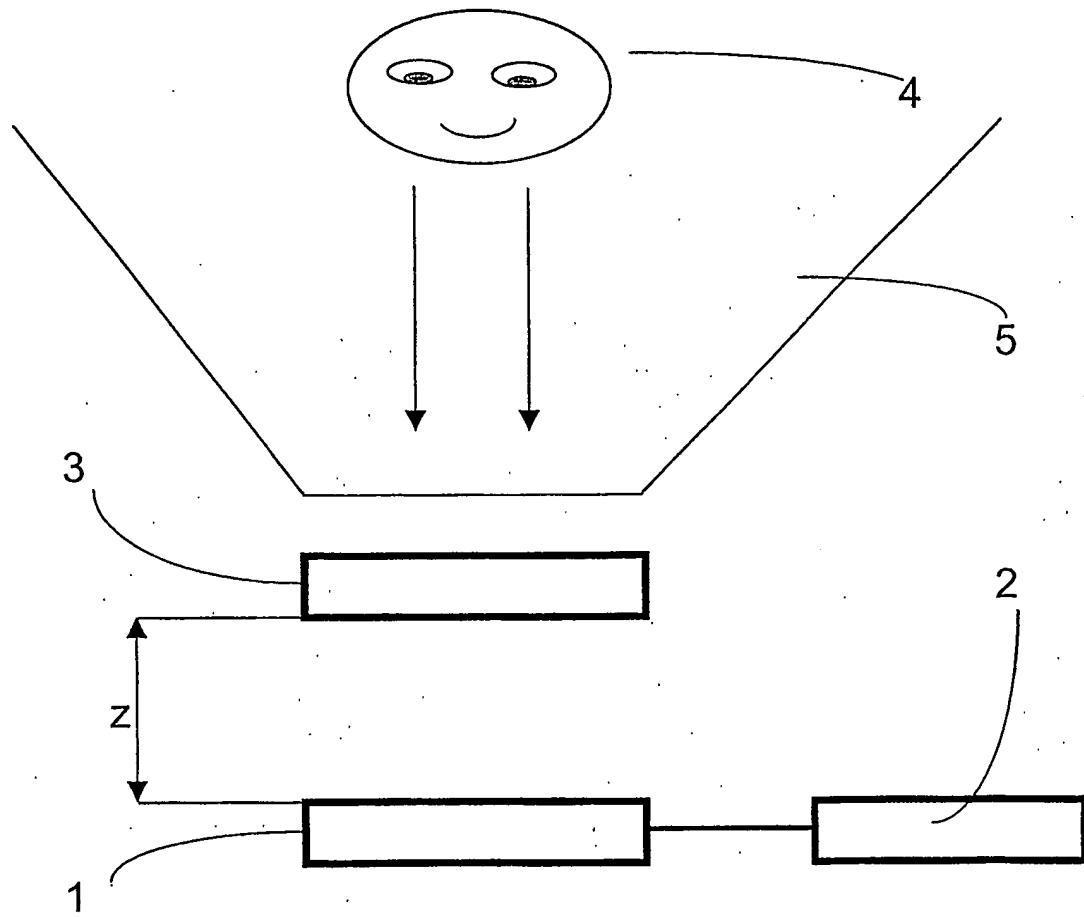


Fig.2

3/8

(cij)	g_{cij}
111	$1/d_f$
211	$0,5/d_f$
311	0
411	0
511	0

(cij)	g_{cij}
121	0
221	$0,5/d_f$
321	$1/d_f$
421	0
521	0

(cij)	g_{cij}
131	0
231	0
331	0
431	$1/d_f$
531	$0,5/d_f$

(cij)	g_{cij}
112	0
212	$0,5/d_f$
312	$1/d_f$
412	0
512	0

(cij)	g_{cij}
122	0
222	0
322	0
422	$1/d_f$
522	$0,5/d_f$

(cij)	g_{cij}
...	
413	$1/d_f$
513	$0,5/d_f$

Fig.3

4/8

i →	R		G		B		R		G		B	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
1	1/df *1 0,5/df *2	0,5/df *2 1/df *3	1/df *4 0,5/df *5	0,5/df *5 1/df *6	1/df *7 0,5/df *8	0,5/df *8 1/df *9	1/df *10 0,5/df *11	0,5/df *11 1/df *12	1/df *11 0,5/df *12	0,5/df *12 1/df *13	1/df *13 0,5/df *14	0,5/df *14 1/df *15
2	0,5/df *2 1/df *3	1/df *4 0,5/df *5	0,5/df *5 1/df *6	1/df *6 0,5/df *7	0,5/df *7 1/df *8	1/df *8 0,5/df *9	0,5/df *9 1/df *10	1/df *10 0,5/df *11	0,5/df *11 1/df *12	1/df *12 0,5/df *13	0,5/df *13 1/df *14	1/df *14 0,5/df *15
3	1/df *4 0,5/df *5	0,5/df *5 1/df *6	1/df *6 0,5/df *7	0,5/df *7 1/df *8	1/df *8 0,5/df *9	0,5/df *9 1/df *10	1/df *10 0,5/df *11	0,5/df *11 1/df *12	1/df *12 0,5/df *13	0,5/df *13 1/df *14	1/df *14 0,5/df *15	0,5/df *15 1/df *16
4	0,5/df *5 1/df *6	1/df *6 0,5/df *7	0,5/df *7 1/df *8	1/df *8 0,5/df *9	0,5/df *9 1/df *10	1/df *10 0,5/df *11	0,5/df *11 1/df *12	1/df *12 0,5/df *13	0,5/df *13 1/df *14	1/df *14 0,5/df *15	0,5/df *15 1/df *16	1/df *16 0,5/df *17
5	1/df *7 0,5/df *8	0,5/df *8 1/df *9	1/df *9 0,5/df *10	0,5/df *10 1/df *11	1/df *11 0,5/df *12	0,5/df *12 1/df *13	1/df *13 0,5/df *14	0,5/df *14 1/df *15	1/df *15 0,5/df *16	0,5/df *16 1/df *17	1/df *17 0,5/df *18	0,5/df *18 1/df *19
6	0,5/df *8 1/df *9	1/df *9 0,5/df *10	0,5/df *10 1/df *11	1/df *11 0,5/df *12	0,5/df *12 1/df *13	1/df *13 0,5/df *14	0,5/df *14 1/df *15	1/df *15 0,5/df *16	0,5/df *16 1/df *17	1/df *17 0,5/df *18	0,5/df *18 1/df *19	1/df *19 0,5/df *20
7	1/df *10 0,5/df *11	0,5/df *11 1/df *12	1/df *12 0,5/df *13	0,5/df *13 1/df *14	1/df *14 0,5/df *15	0,5/df *15 1/df *16	1/df *16 0,5/df *17	0,5/df *17 1/df *18	1/df *18 0,5/df *19	0,5/df *19 1/df *20	1/df *20 0,5/df *21	0,5/df *21 1/df *22
8	0,5/df *11 1/df *12	1/df *12 0,5/df *13	0,5/df *13 1/df *14	1/df *14 0,5/df *15	0,5/df *15 1/df *16	1/df *16 0,5/df *17	0,5/df *17 1/df *18	1/df *18 0,5/df *19	0,5/df *19 1/df *20	1/df *20 0,5/df *21	0,5/df *21 1/df *22	1/df *22 0,5/df *23
9	1/df *13 0,5/df *14	0,5/df *14 1/df *15	1/df *15 0,5/df *16	0,5/df *16 1/df *17	1/df *17 0,5/df *18	0,5/df *18 1/df *19	1/df *19 0,5/df *20	0,5/df *20 1/df *21	1/df *21 0,5/df *22	0,5/df *22 1/df *23	1/df *23 0,5/df *24	0,5/df *24 1/df *25

Fig.4

df=1,5

n=12

5/8

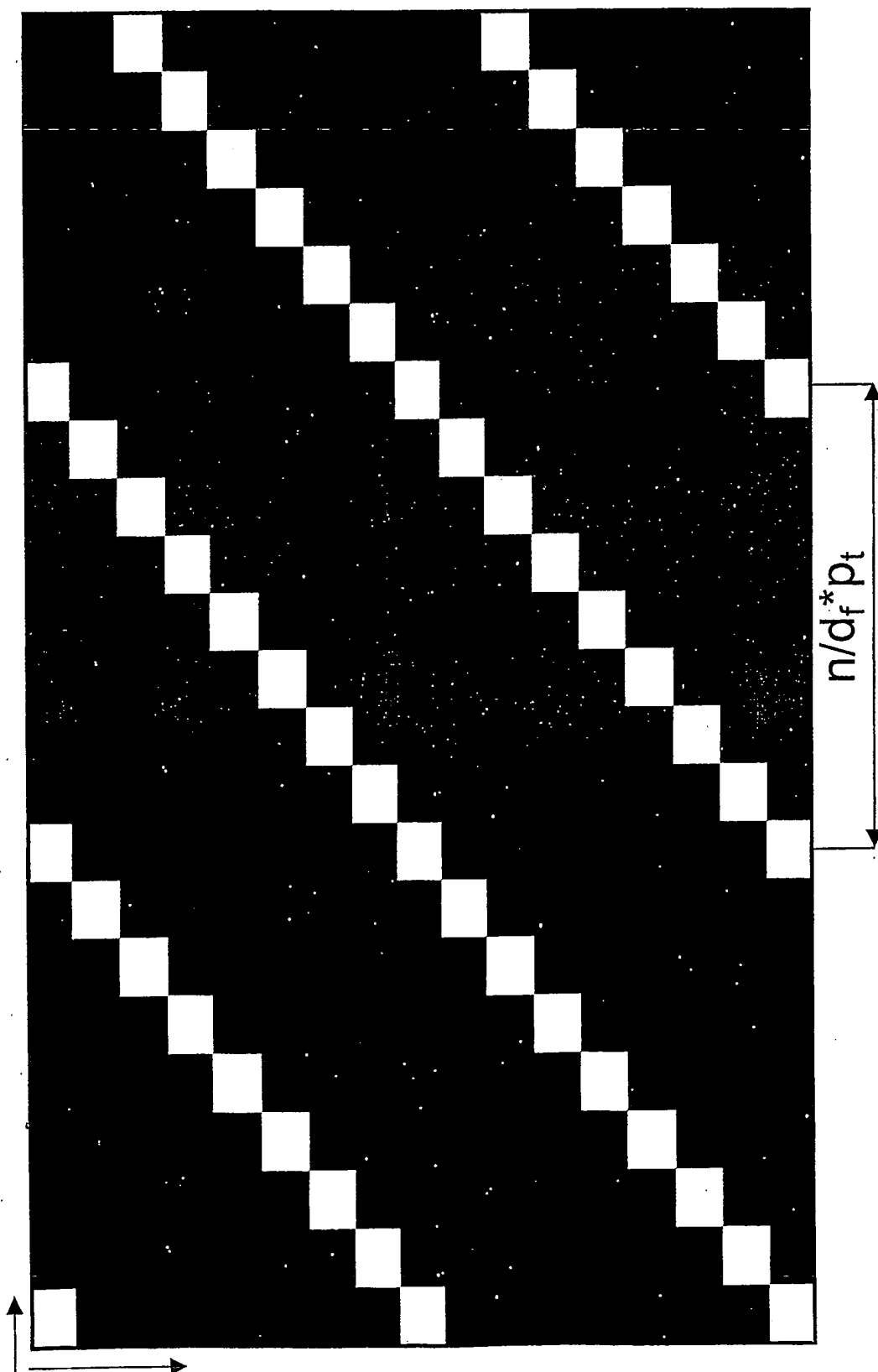


Fig. 5

6/8

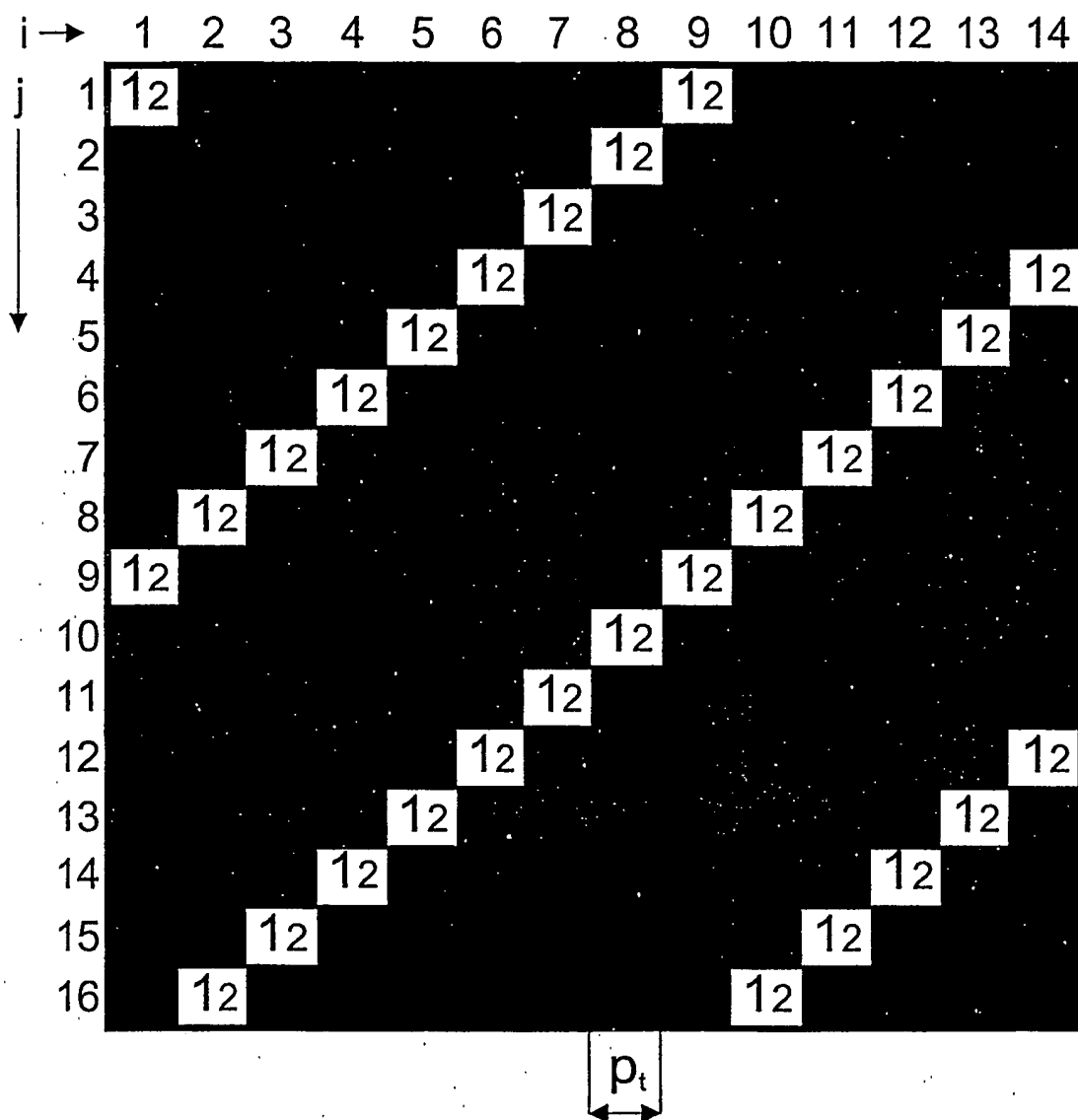


Fig.6

7/8

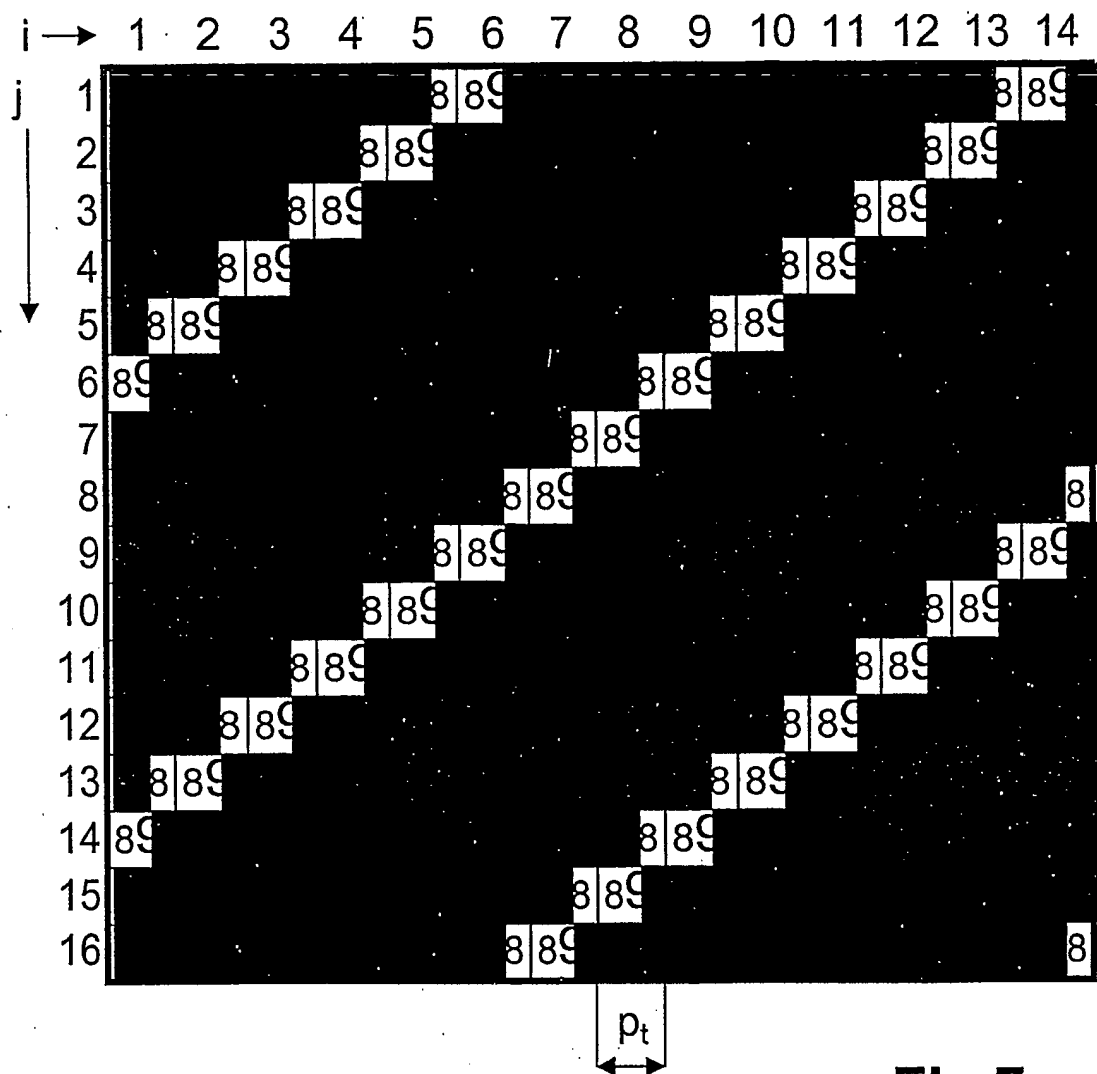


Fig.7

8/8

		j →		1	2	3	4	5	6	7	8	9
i ↓	1	1/df *1	0,3/df 1/df *2	0,6/df 1/df *3	0,9/df 0,8/df *4	0,2/df 1/df *5	0,5/df 0,8/df *6	0,2/df 1/df *7	0,5/df 1/df *8	0,8/df 0,9/df *9	0,1/df 1/df *10	0,4/df 1/df *11
	2	0,7/df *2	0,4/df *3	0,1/df *4	0,8/df *5	0,5/df *6	0,2/df *7	0,9/df *8	0,6/df *9	0,3/df *10	0,1/df *11	0,4/df *12
	3	0,3/df 1/df *2	0,6/df 1/df *3	0,9/df 0,8/df *4	0,2/df 1/df *5	0,5/df 0,8/df *6	0,2/df 1/df *7	0,9/df 0,6/df *8	0,5/df 0,3/df *9	0,1/df 0,7/df *10	0,4/df 0,3/df *11	0,7/df 1/df *12
	4	0,4/df *3	0,1/df *4	0,8/df *5	0,5/df *6	0,2/df *7	0,9/df *8	0,6/df *9	0,3/df *10	0,1/df *11	0,4/df *12	0,7/df *13
	5	0,6/df 1/df *4	0,3/df 1/df *5	0,1/df 1/df *6	0,8/df 0,9/df *7	0,5/df 0,6/df *8	0,2/df 0,3/df *9	0,9/df 0,7/df *10	0,6/df 0,4/df *11	0,3/df 0,1/df *12	0,1/df 0,7/df *13	0,4/df 0,3/df *14

$n/d_f \cdot p_t$

Fig.8

n=12

df=1,7